

La naissance de la science

Carlo Rovelli

Site du cours : <http://www.cpt.univ-mrs.fr/~rovelli/NS.html>

1. Le début de la compréhension rationnelle du monde : **Anaximandre**.
2. Le grand rêve grec : comprendre le monde avec les maths. **Pythagore, Platon et Aristote**.
3. La première réalisation du rêve : l'astronomie alexandrine de **Hipparque et Ptolémée**.
4. La Terre fait partie du ciel : **Copernic**.
5. Régularités sur terre; la découverte de la première loi de nature sur la terre : **Galilée**.
6. La synthèse du ciel et de la terre et la réalisation du rêve : **Kepler et Newton**.

Le cours : Retracer les étapes fondamentales de la grande aventure humaine qu'est la science.

Objectif : 1. Comprendre ce qu'est la science. Comprendre et discuter les bases, les points de force et les limites de l'approche *rationnelle* à la compréhension du monde.

2. Exercice de réflexion et discussion.
3. Education de base sur l'évolution de la pensée scientifique.

1er cours : Le début de la compréhension rationnelle du monde : **Anaximandre**.

Présentation du cours

Pas vraiment un cours comme les autres. Ici on n'apprend pas une science particulière. Nous allons discuter et chercher de comprendre ce que c'est la science. Cela est important soit si votre idée est d'être des scientifiques (possible, mais peut être seulement peu d'entre vous) soit si vous allez utiliser la science dans votre métier ou dans votre vie (très probable), mais aussi si pour vous la science ne sera pas centrale dans votre métier. Parce que la science est une des bases de notre monde et de notre civilisation. Si on ne comprend pas ce que c'est la science, dans son bien et son mal, sa force et ses limites, on ne comprend pas le monde dans lequel nous vivons. On risque d'avoir des idées fausses sur notre monde. Donc, ce cours est plutôt un cours de culture générale qu'un cours spécialisé.

Ce que j'aimerais d'obtenir dans ce cours est de vous apprendre quelques idées générales sur la science - mais plus encore, contribuer à vous apprendre à réfléchir, à voir les problèmes en général, à discuter, développer et faire grandir et évoluer les idées.

Qu'est ce que la Science ?

1. Question: Qu'est ce que la Science ?

Commencez par vous poser cette question vous mêmes, avant de lire le reste, et répondre comme vous répondriez à votre petit frère qui vous pose cette question. Écrivez votre réponse. Ensuite, vous allez la comparer vous même avec ce qu'on va apprendre dans le cours.

Possibles éléments de réponse:

1. Explication de la multiplicité de phénomènes sur la base d'hypothèses simples qui peuvent justifier tous les manifestations de la matière.

2. Lois, modèles, théories. Une loi ou un modèle décrit la nature. Elle décrit le «comment» d'un certain phénomène. Une théorie explique la nature. Elle explique le «pourquoi» d'un phénomène, ou d'une ensemble de lois. Une théorie est un *cadre conceptuel* qui explique des observations et des lois existantes et prévoit des phénomènes pas encore observés.

3. Mathématique: modèles mathématiques

4. Observation de la nature: connaissance par l'expérience (et non pas l'introspection). Observations avec esprit critique : séparer les éléments essentiels d'un phénomène des facteurs de perturbation (inessentiels). Trouver des similarités dans des phénomènes différents

5. Expériences: non seulement observation, mais interrogation active : on monte une situation particulière qui nous apprend quelque chose de général. Manipulation «active» pour chercher la vérité, pour découvrir des nouveaux phénomènes.

6. Etude des régularités de la Nature.

7. La science fait des prédictions.

Le rôle des prédictions est double: D'abord, elles nous sont très utiles. *Exemples?* (Un ingénieur applique la théorie et peut calculer si un pont va tomber ou non, avec une certaine dimension des piliers de béton. La prédiction sur la résistance du béton nous sauve de la nécessité de devoir y arriver par tentatives et erreurs.)

Mais il y a un autre rôle très important des prédictions: Les théories scientifiques sont *testées* par leur prédictions. (Exemple: Einstein et la déflexion de la lumière par le soleil.) Cela est très important: si une théorie ne fait pas de prédictions, elle n'est pas vraiment scientifique.

8. Hypothèses. Supposition, conjecture, hypothèse de travail, que l'on accepte *provisoirement* comme vraie, et à partir de laquelle on développe de façon déductive un raisonnement, une loi, ou une théorie mathématique. En effet, pour être scientifique une théorie doit être telle que ce soit possible de prouver quelle est fausse, avec des observations (*Principe de falsification* de Popper). (La théorie que « la lune est peuplée par des petits hommes verts qui

peuvent lire nos esprits et se cacheront toutes les fois que n'importe qui sur terre les recherche, et se sauveront dans l'espace profond toutes les fois qu'un vaisseau spatial vient près» n'est pas testable)

9. La science change: dynamisme de la science: évolution. Quand une théorie ne peut pas expliquer de nouvelles observations, les chercheurs essayent de construire une nouvelle théorie. Ça devient de plus en plus difficile à mesure que notre connaissance augmente, parce que la nouvelle théorie devrait non seulement expliquer les nouvelles données, mais également les vieux faits que les vieilles théories ont expliqués.

10. La science offre un regard sur le monde, un langage pour décrire le monde, une façon de comprendre le monde, de structurer le monde dans la pensée. Une vision du monde. Mais c'est une vision du monde qui change.

11. La science est basée sur la discussion. Le critère de vérité n'est pas un livre, l'autorité d'un homme ou d'une institution, la tradition, le pouvoir, l'argent ... Pas de dogmes, abandon des préjugés, esprit critique. Les critères de vérité sont deux: convaincre les autres (avec une explication plus simple et plus convaincante des phénomènes, et, faire des prédictions correctes.)

12. La science met en doute des certitudes acquises (la terre est le centre du monde).

13. Pas de vérité « finale » dans la science. On peut toujours améliorer notre compréhension.

Donc la "méthode scientifique" est caractérisée par:

- observation de la nature
- expériences
- recherche de régularités de la nature
- hypothèses simples pour expliquer
- doute et abandon de préjugés (la terre est le centre du monde)
- ouverture à des idées nouvelles
- modèles mathématiques (théories)
- prédictions (tests de la théorie)
- discussion
- évolution des modèles
- nouvelle vision et interprétation du monde, mais une vision qui change.
- mis en doute des idées et des certitudes acquises.
- certitude limitée (à comprendre).

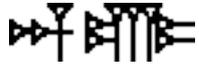
Attention :

Il y a des différents types de sciences, qui réunissent tous ou seulement certains de ses éléments. Nous allons considérer surtout les sciences dites "dures", comme la physique, la chimie, l'astronomie ... qui ont tous les caractéristiques les plus typiques de la science. Non pas pour donner moins de valeur à d'autres sciences, mais pour chercher de mieux comprendre le cœur de la méthode scientifique elle-même.

- Science au sens strict: Physique, Chimie, Biologie, Cosmologie, Astronomie ...
- Science au sens large: Géographie, Economie, Médecine,

Question : Quand a commencé la science ?

La science des civilisations anciennes



AN = shamû = Le ciel

Les civilisations anciennes (Egyptienne, Babylonienne, Chinois, Egyptienne, Maya, Indienne..) ont accumulé des grandes quantités d'observations sur la nature. Ces observations étaient utilisées dans des façons différentes. On peut reconnaître plusieurs Premier pas d'observations qui feront partie de la science. Par exemple:

Le plus ancien document d'astronomie de Babylone date de la période sumérienne de 2000 à 1600 dite paléo babylonienne :

« Au 15e jour du mois, Vénus disparut. Durant trois jours elle resta absente du ciel. Puis le 18e jour du 11e mois elle réapparut à l'est. Des sources jailliront, Adad enverra sa pluie ; Ea apportera ses crues... »

Ancienne tablette avec observations astronomiques.



Tablette Nr. 86378 British Museum : contient des observations astronomiques.

De cette période sont parvenus des énumérations d'étoiles, de constellations, des prédictions associées à des éclipses de lune et des observations de Vénus. Nous avons des observations de Venus écrites sous le roi Ammisaduqa en 1600 avant JC :



Cette tablette est une des plus importantes que nous avons. Elle est une copie, faite à Nineveh dans le septième siècle avant JC, d'observations de la planète Venus faites sous Ammisaduqa, rois de Babylone, 1000 ans plus tôt.

Ptolémée regrettait de ne pouvoir disposer de documents mésopotamiens sur les positions des planètes, mais il possédait des tables d'éclipses remontant au règne de Nabassar (-700)

L'astrologie chaldéenne annonce surtout des événements d'intérêt collectif (épidémie, inondations, guerres) (alors que la prédiction dans une vie humaine apparaît en même temps en Perse et en Grèce vers 400. Elle va connaître une grande vogue sous Auguste.) Voilà une ligne de la tablette montrée :

"Si dans le premier mois le Démon avec la bouche qui souffle (Cygnes) se lève, alors pour 5 ans in Akkad il y aura une peste, sous la commande de la déesse Irra, mais ça n'aura pas d'effet sur les vaches."

L'instrument pour prédire les éclipses est le cycle de Saros : une période de 223 mois (18 ans et 11,3 jours), après laquelle les éclipses se reproduisent. Par exemple, si vous savez qu'il y a eu une éclipse solaire le 18 Mai 603 BCE à l'aube, il y a une bonne probabilité d'avoir une autre similaire le 28 Mai 585 au coucher du soleil. Ce cycle avait été observé à Babylone.



Ancienne tablette avec une liste des éclipses entre 518 et 465 av. J.-C. (British Museum)

Astrologie est le terme classique pour désigner l'astronomie (Varron, Cicéron, Vitruve). Les auteurs chrétiens distingueront nettement astrologie et astronomie

Division babylonienne de la journée et de la nuit en douze parties, du zodiaque en douze parties à partir de 500.

- donc: observations des régularités dans le mouvement du soleil, de la lune, des planètes.
- soleil, et lune sont les phénomènes naturels qui montrent les régularités les plus évidentes.
- importance de bien connaître le mouvement du soleil: reconnaître le solstice et les équinoxes, pour savoir où on est dans l'année, et savoir quand faire des travaux agricoles. pour cela, il faut avoir une mesure précise de l'année. Ce qui n'est pas de tout évident! (Hésiode, Les Travaux vers 564-663)

MAIS, cela est encore très loin d'être de la science. Il y a beaucoup des choses qui manquent. Pas de vrais modèles, pas de mathématiques, mais surtout pas de recherche d'explication de causes naturelles.

Donc, d'un côté, nous sommes souvent surpris par la quantité de connaissances accumulées par ces civilisations. Par exemple, dans un livre Maya il y a la période de Venus. Les Babyloniens, apparemment, avaient observé des cycles réguliers dans les éclipses, et utilisaient cette périodicité pour des prévisions sur les éclipses.

Mais, d'autre côté, la vision du monde de ces civilisations est toujours très primitive, naïve, et plain d'idées fausses. Toutes les civilisations, par exemple, ont des "théories" sur la forme générale du monde, mais il s'agit de théories très primitives. La terre en bas et le ciel en haut. Peut être la Terre appuyée sur une grande Tortue, ou bien sur les épaules d'un géant, et histoires similaires. Ce sont des histoires de fantaisie, et non pas de la réflexion rationnelle sur le monde.

Info sur l'astronomie de Babylone :

<http://www.astronomy.pomona.edu/archo/outside/aneastro.html#Index>

La civilisation grecque.
Premiers pas de la réflexion rationnelle sur le monde.
Relation entre science et démocratie.

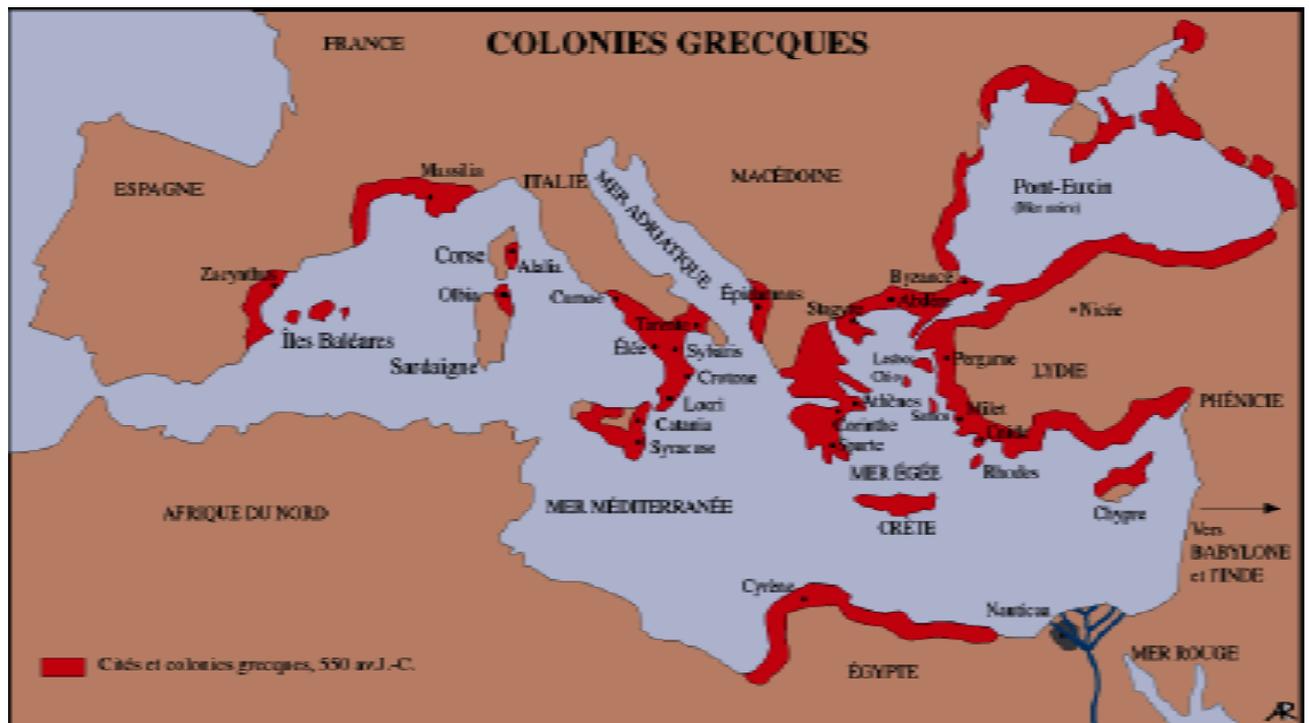
Climat culturel de la Grèce.

Manque d'un pouvoir central. Pouvoir diffus. Importance du débat. Les décisions collectives sont prises dans des assemblés, ou la *discussion* est plus importante que l'autorité de naissance. La capacité de convaincre. Ouverture aux idées nouvelles. On est prêt à se faire convaincre. On se méfie de ses propres idées. On fait confiance à la discussion.

Relations évidente science - *démocratie*. Les deux naissent en effet dans le même lieux, ou même siècle.

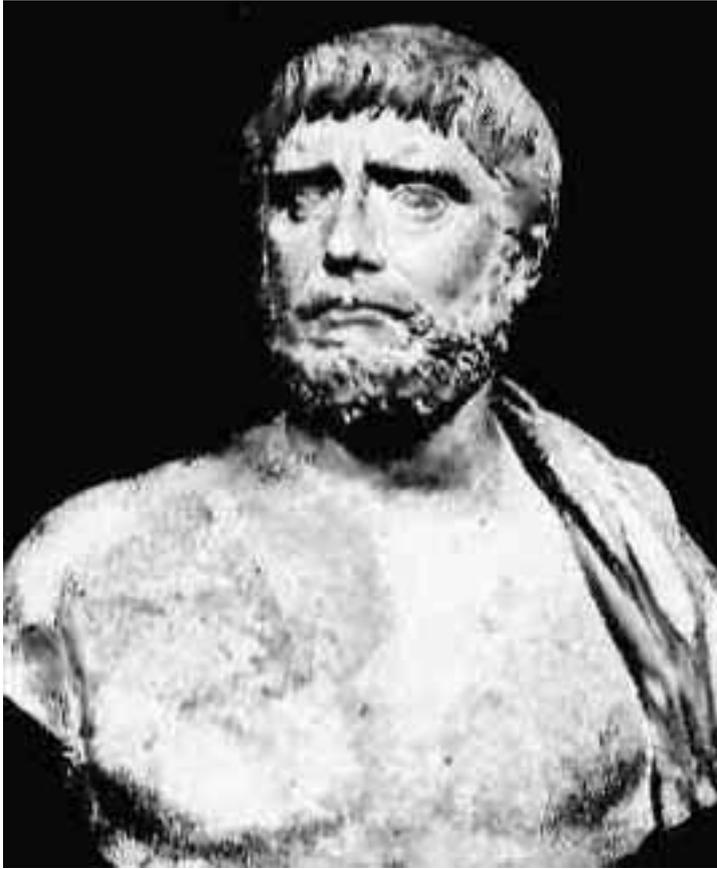
Pas de lois éternelles. Les Lois sont *mises en discussion* continuellement, changées. Il n'y a pas des institutions qui détiennent une autorité forte qui ne puissent pas être remises en question. La science naît quand les hommes acceptent l'idée que leurs idées à priori peuvent être fausses. La civilisation est basée sur le *dynamisme* au lieu de la stabilité.

Ouverture aux influences des autres civilisations. Tales et Anaximandre sont des voyageurs.



Les philosophes de Millet : questions scientifiques. réponses scientifiques (vrais ou fausses)

Les tout premiers pas de la pensée scientifique se passent en Turquie, dans les villes grecques de la Côte. En particulier, à Millet, où vivent Thalès, et Anaximandre, à peu près 600 avant Jésus Christ. Cette première date (600 av. JC), est une date que vous devez retenir.



- **Thalès** (625-547 av. JC), Millets (Turquie)

Nous n'avons pas de textes écrits de lui. Nous connaissons sa pensée parce que d'autres, écrivains anciens (plus tard) dont nous avons les textes, parlent de lui.

Idées centrales qui lui sont attribuées:

- *le monde est fait d'eau*
- *l'eau est le "principe" (arché) de toutes les choses*
- *la terre est un disque qui flotte sur l'eau.*

Nous savons que Thalès voyage beaucoup en Egypte. Il amène dans le monde Grec des éléments de savoir Egyptien, et peut être aussi Babylonien. Il amène probablement des connaissances de géométrie et d'astronomie.

Les anciens considéraient Thalès comme un des "Sept Savants", les personnes les plus savants du monde.

On dit qu'il a fait la prédiction d'une éclipse solaire (difficile à croire, parce que une prédiction précise des éclipses solaires est difficile.)

A Thalès, sont attribués des théorèmes de géométrie (le théorème de Thalès, que peut être vous avez étudié: deux triangle sont égaux s'ils ont deux angles et un coté égal, par exemple. et aussi des applications de ces théorèmes.

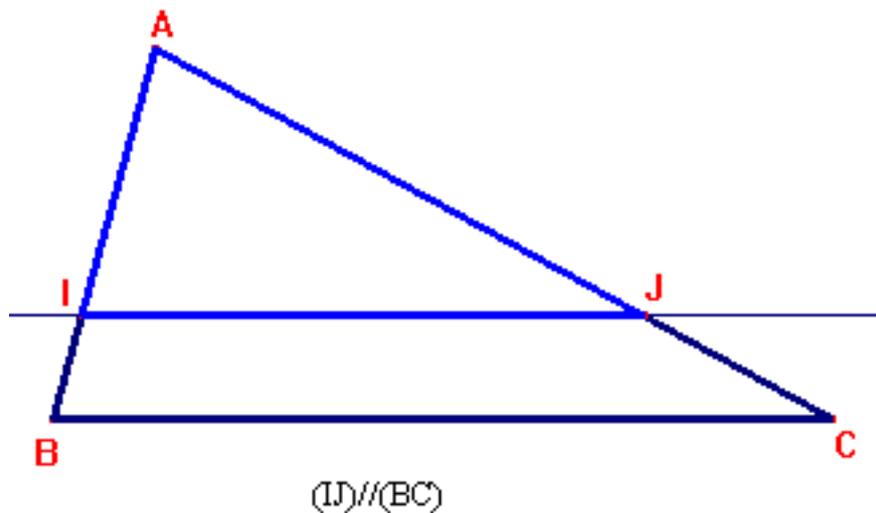
Il mesure les pyramides utilisant une proportion avec l'ombre, par exemple.

On attribut à Thalès plusieurs Théorèmes de géométrie. Par exemple

Théorèmes fondamentaux sur les angles

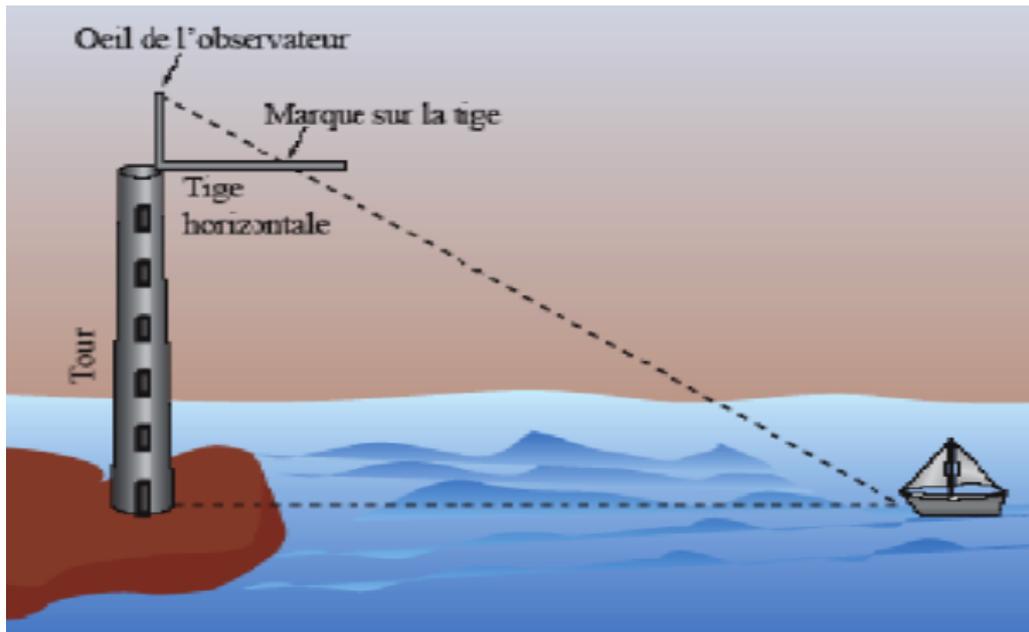
- Les angles opposés par le sommet, formés par deux droites qui se coupent, sont égaux.

Un triangle isocèle a deux angles de même mesure. (Les angles à la base d'un triangle isocèle sont égaux)



Les angles inscrits dans un demi-cercle sont droits. (Il a sacrifié un taureau pour remercier les dieux pour la joie de la découverte)

On dit que cette découverte a été utilisée par Thalès pour construire un instrument pour mesurer la distance des bateaux. Utilisant une tour ! Description.



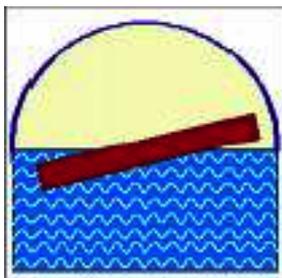
Premières observations:

- application d'un théorème à la vie pratique. Théorie-> application
- joie de la découverte: le scientifique est très heureux de découvrir.
- voyages et mélange des connaissances de différents traditions.

Mais venons à l'idée principale de Thalès:

- "le monde est fait d'eau": Un début plutôt moche pour la science ? Mais la *question* est révolutionnaire, et *le type de réponse cherché* est révolutionnaire: tentative d'explication de la multiplicité de phénomènes sur la base de peu d'hypothèse simples qui peuvent justifier tous les manifestations de la matière. C'est déjà de la science!!

Cosmologie: pour Thalès, la terre est un disque qui flotte sur l'eau. Toutes les choses viennent de l'eau. Les tremblements de terre, par exemple, sont dus aux vagues dans l'eau.



--->>> Explications rationnelles, au lieu de mythologiques.

- générale (un regard tout en entier sur un domaine de choses, pas seulement une)
- réduction de la multiplicité à quelque chose de simple.
- basé sur l'observation, mais va au delà de l'observation
- pas de référence à des causes super naturelles (des dieux, par exemple)

(Explications précédentes pour les tremblements de terre: l'arbitre des dieux. Pas d'anthropomorphisme ici !)

le problème: ce monde qui n'a pas d'ordre et de simplicité, ne peut-il pas être réduit à quelque chose de plus simple, que notre raison puisse comprendre? De quoi est il fait, comment change-t-il? Il y a ici une profonde intuition: ce n'est pas le caprice que gouverne le monde: *on peut expliquer la nature sur la base de la nature même ... !!!*

Un regard complètement nouveau sur le monde est né.

--->>> La théorie elle même est peut être fausse (le monde n'est pas fait d'eau), mais peut être corrigée et améliorée!

(Aetius le crédite d'avoir) le premier expliqué les phases de la lune « La lune est illuminée par le soleil »

Explique les éclipses

Aristote dit que: Thalès est le premier à chercher les causes et les principes.

Problème: Trouver des difficultés ou des manques, et des erreurs de Thalès.

Possible réponses:

Difficulté centrale: si tout est fait d'eau, pourquoi tout n'est pas liquide? Pourquoi tout n'est pas humide? Pourquoi les différentes matières sont elles différentes les unes des autres?

Erreur logique: La terre est supportée par l'eau. Par quoi l'eau est supportée?

- **Anaximandre**, probablement étudiant de Thalès (611-545 BC), aussi de Millets.

Anaximandre est une figure majeure dans l'histoire de la culture. Il est un génie. Peut être il est l'un des plus grands penseurs du monde.



Idées les plus importantes d'Anaximandre:

1. Il comprend que la Terre est un corps fini, qui flotte dans l'espace, au dessous du quel il n'y a rien.
2. Il change la doctrine de Thalès. Il accepte l'idée de Thalès que toute la nature est faite d'une seule substance primordiale, mais il n'accepte pas l'idée que cette substance soit l'eau. Au contraire, il postule une substance primordiale, et l'idée que tout soit fait de cette substance. Cette substance, il l'appelle l' apeiron.
3. Il introduit l'idée très fondamentale qu'il y a des lois naturelles.

Autres Résultats, idées et découvertes qui lui sont attribués:

4. Il invente l'horloge solaire
5. Il utilise à fond le gnomon (voir : <http://www.du.edu/~jcalvert/astro/gnomon.htm>) pour étudier le mouvement du soleil: observe que l'ombre a des longueurs différentes à des latitudes différentes, mesure l'arc entre les solstices, définit les équinoxes. Met en évidence le rayon méridien équinoxial, la longueur de l'ombre méridienne et l'obliquité de l'écliptique.

6. Il dessine la première carte géographique du monde connue. Reconstruction :



Anaximander's Map of the World

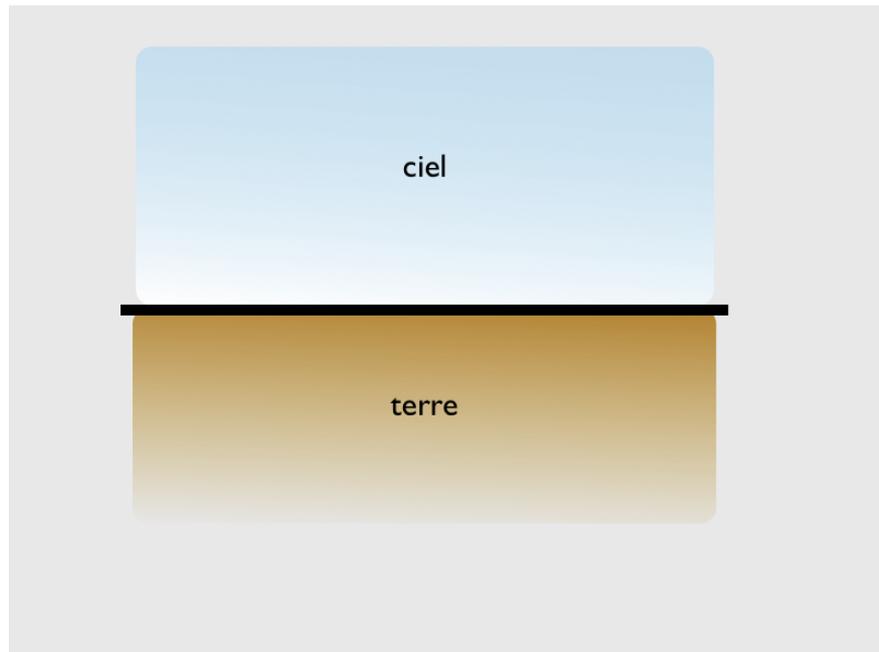
On ne l'a pas, mais on a la description qu'en fait Hérodote: la mer Océan autour, la mer Méditerrané au centre, l'Europe au nord, l'Afrique au sud, l'Asie à l'est.

7. Il écrit le premier livre sur la nature écrit en prose et non en vers. (*Peri Physis* = sur la Nature -> Physique)

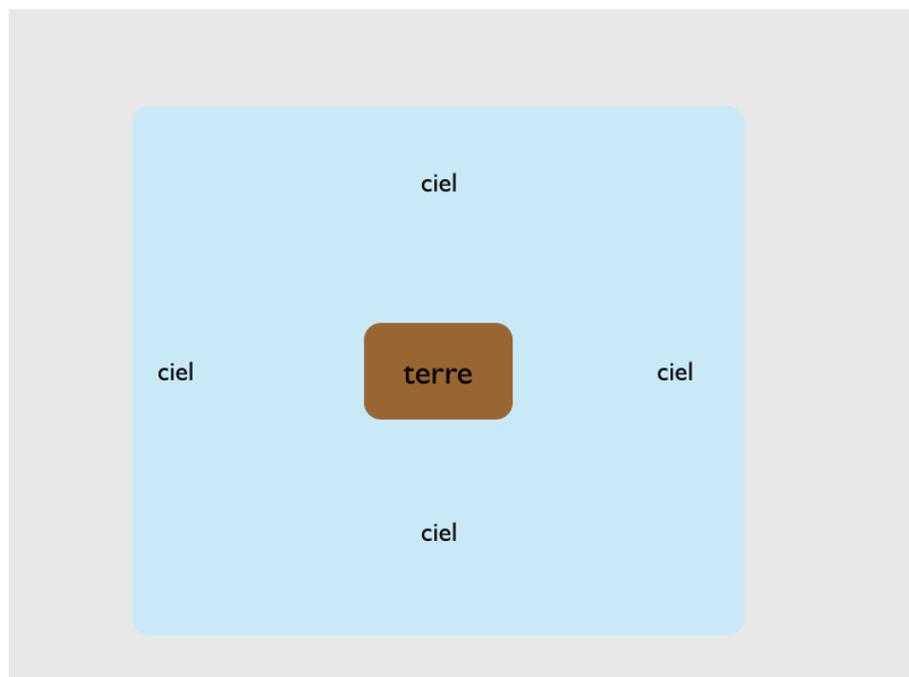
Je vais commenter ces idées.

1. Cosmologie:

La terre est dans le centre de l'univers, elle n'est pas appuyée sur quelque chose, mais elle "flotte" dans le rien. La forme de la Terre est un court cylindre.



Avant Anaximandre :



Anaximandre :

Cela est vrai! Comment Anaximandre l'a compris? Probablement c'est à cause des parcours des étoiles dans le ciel (dessin), qui font des cercles autour de l'étoile polaire. Les cercles les plus grands doivent passer au dessous de la Terre. Donc il n'y a rien au dessous de la Terre.

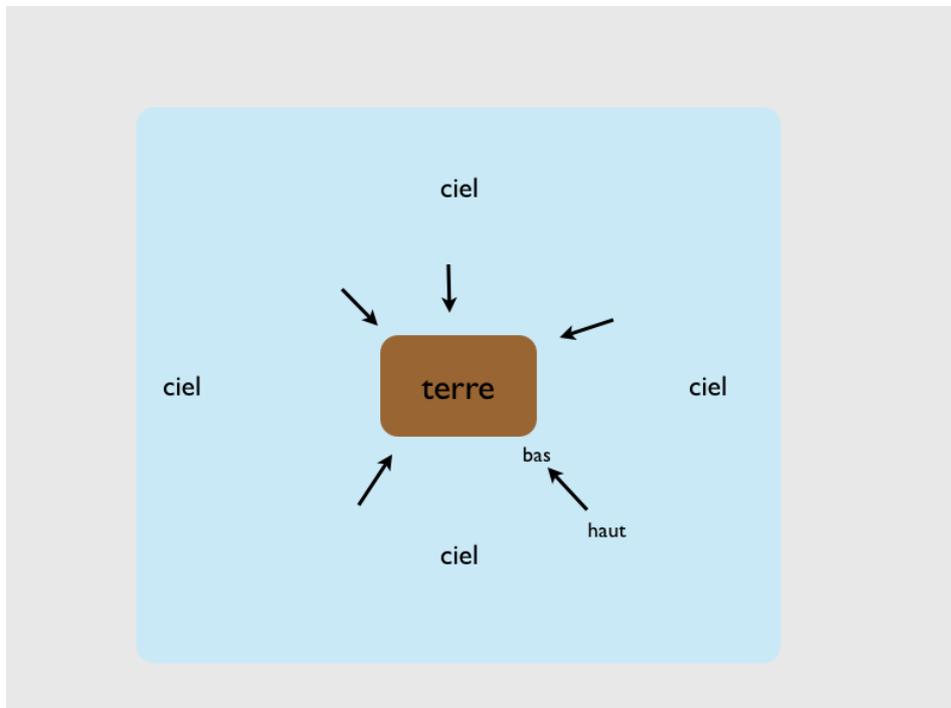
C'est une idée absolument étonnante, qui n'est pas arrivée à d'autres civilisations, et qui fonde la cosmologie typique de notre civilisation occidentale. On peut dire, peut être, que la civilisation occidentale commence avec Anaximandre.

Problème: si la terre n'est pas appuyée sur quelque chose, pourquoi ne tombe t-elle pas? Bien, nous connaissons exactement la réponse d'Anaximandre, parce que elle est citée dans un livre de Platon:

La terre est à distance égale de tous les extrêmes, donc elle n'as pas de raison de "tomber" vers le bas ou vers le haut, parce que il n'y a pas une direction spéciale vers laquelle tomber. Les choses ne tombent pas vers une direction spéciale qui est le bas : elle tombent vers la terre.

Génial ! On sent la, un génie absolu.

Anaximandre a compris que "tomber" a du sens sur la terre, non pas pour la terre. On tombe vers la terre. Donc il n'y a pas une direction vers la quelle la terre elle même puisse tomber. Il comprend que l'univers n'a pas un "haut" et "bas" absolu. C'est un pas de géant absolu. Comment a-t-il compris ça? Je ne sais pas !



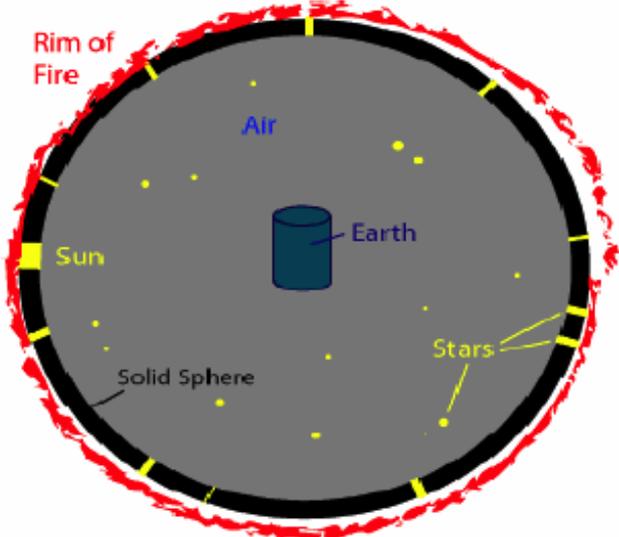
Autres éléments de la cosmologie d'Anaximandre:

Les étoiles sont des cercles de feu, couverts par des écrans avec des trous. Quand les trous sont couverts, il y a des éclipses. La lune a des phases parce que les trous sont couverts.

Le Soleil est plus en haut que la lune (vrai).

Les étoiles sont plus en bas que Lune et Soleil (faux).

Représentations du ciel d'Anaximandre :



Anaximander's model of the Universe

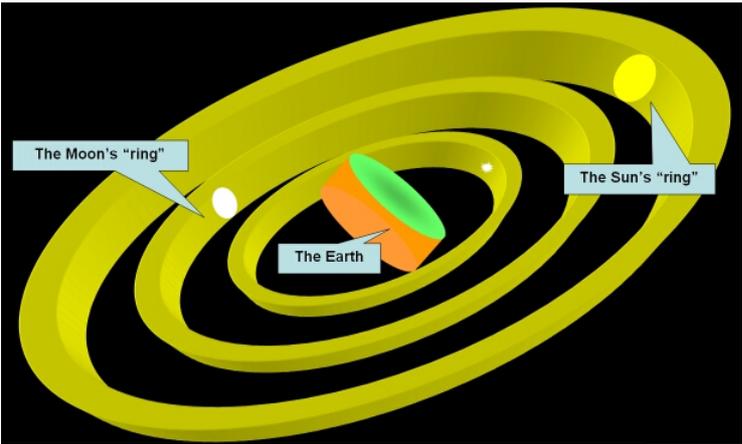


Figure 2
A map of Anaximander's universe

Autres idées d'Anaximandre :

- Les animaux ont évolué (!!) L'homme dérive des poissons. (Peut être parce que les petits sont dans un liquide?)
- Il a des explications naturelles pour la pluie, le vent, et autres phénomènes naturels. La pluie est de l'eau qui a évaporé de la mer, et a été transportée par le vent. Très important : pas des dieux, pour expliquer le vent, la pluie.

Dans tout ça, ce qui est important, ce ne sont pas les réponses. Mais le genre de questions, et le genre de réponse qu'il cherche. C'est ça son génie.

2. Le monde est fait d'une substance qu'il appelle *apeiron* qui veut dire "non défini".

Seul fragment que nous avons :

*Toutes les choses, qui sont périssables viennent d'autres choses
et meurent, en devenant autres choses
payant une pénalité et une rétribution l'une l'autre et
en accord avec l'ordre du temps*

Des éléments importants d'Anaximandre:

- Répondre à une difficulté de la théorie précédente avec une théorie un peu changée. - Anaximandre est l'élève de Thalès, mais corrige ce que Thalès disait !! Pas de respect pour l'autorité ici !! Le maître peut se tromper !! C'est le début de l'évolution scientifique. Le début de la mise en cause de l'image traditionnelle du monde.

D'autre part, l'élève prend l'idée la meilleure du maître: la recherche du "principe" général, et la développe *mieux*. C'est déjà le progrès scientifique ! Très différent de la pensée religieuse: Saint Paul développe Jésus, mais ne le corrige pas !

- Introduit une entité théorique (la première d'une longue liste: les électrons ! , le champ électrique ! , les particules élémentaires, le ADN, les atomes ... par exemple) pour expliquer les phénomènes. L'*apeiron* est le prototype de toutes les choses introduites par la science. L'hypothèse de quelque chose au delà de l'expérience n'est pas nouvelle (les dieux, par exemple) mais ici c'est une entité naturelle, un espèce de matière. Ce sont des choses "plus vraies" que ce que nous voyons. Des objets théoriques, qui nous permettent de mieux penser le monde. Le génie de Anaximandre est d'avoir inventé l'idée même que pour comprendre ce que nous voyons nous pouvons penser quelque chose d'autre, que nous ne voyons pas, mais qui est quand même un objet de la nature, de l'ordre des choses naturelles, et non une fantaisie anthropomorphe comme les dieux et les esprits.

3. Le troisième pas colossal est l'idée de loi naturelle: les choses se passent non pas par hasard ou bien pour le caprice des dieux, mais pour une nécessité intrinsèque, que nous pouvons comprendre. Le changement suit des lois que nous pouvons chercher de comprendre. De tout le livre d'Anaximandre, rien ne nous reste (on connaît sa pensée parce que des autres auteurs

anciens nous parlent de lui) sauf 4 lignes. Se sont les premières quatre lignes qui nous restent de l'histoire de la pensée occidentale.

- Comment a-t-il pu faire le gigantesque pas de comprendre que la Terre flotte dans le vide? La forme, étrange de la terre, qu'il imagine (le cylindre) est peut être un indice: C'est la même forme du cylindre flottant de Thalès, mais sans l'eau. Dans un certain sens, donc, ce que Anaximandre fait est tout simplement d'enlever l'eau de Thalès.

Mais comment arrive-t-il à comprendre que même sans l'eau la Terre ne tombe pas? C'est là, la grandeur d'Anaximandre. Il comprend, probablement le premier, que notre image usuelle du monde est limitée et provinciale. Pour mieux comprendre le monde, nous devons renoncer à des idées naturelles qui nous viennent de l'expérience, mais qui n'ont qu'une validité locale. Nous pensons en terme de haut et bas, mais, il comprend, cela ne peut n'avoir aucun sens dans l'univers entier. Donc il comprend que le monde peut être mieux compris en changeant notre façon de le penser. C'est pour cela qu'il peut faire le pas d'introduire l'*apeiron* et de comprendre que la terre flotte dans le vide.

Il comprend que cette réorganisation mentale du monde est possible, est communicable aux autres, et peut devenir une connaissance nouvelle. Il y a encore plusieurs pas à faire pour être vraiment dans la science (les mathématiques, les prédictions, les expériences...) mais on a déjà des éléments essentiels.

- **Anaximène**

Le principe de tout est l'air, et il donne origine à toutes les substances par raréfaction et compression.

- c'est un peu un retour en arrière à une version plus concrète de la substance primaire (air), mais introduit une idée fondamentale:

- la nouveauté est exactement une tentative de réponse à ce qui manque à Thalès: l'explication de comment la même substance, le même principe, peut devenir des matières différentes: la réponse qu'Anaximène essaie est: par raréfaction et condensation. La encore, on prend un phénomène naturel qu'on pense comprendre (des choses se compriment) et on cherche à tout expliquer sur la base de ça.

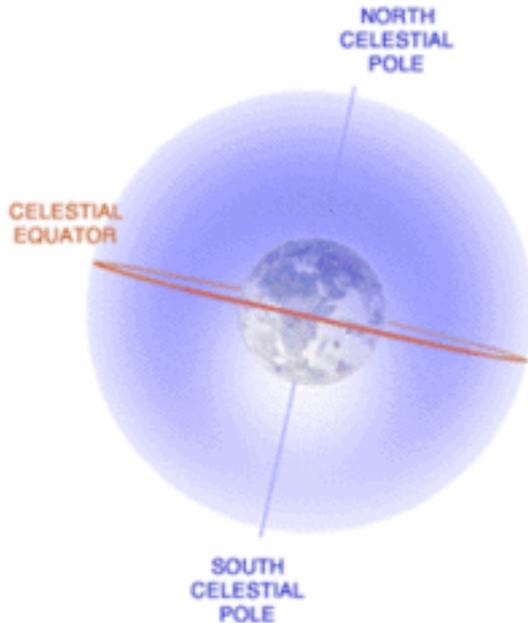
- mais la grande nouveauté est qu'on passe de la qualité à la quantité. Les différents degrés de compression et raréfaction de l'air donnent lieux différents substances : Par compression croissante, on obtient :

Feu → air → vent → eau → terre → pierre.

PART III. L'astronomie d'Anaximandre

Le ciel peut être représenté comme une sphère qui tourne. Le ciel est une sphère qui tourne autour de la terre, qui est dans le centre.

Cette image est très naturelle si vous regardez le ciel la nuit: tout tourne autour de l'étoile polaire. Tout monte de l'est, fait le tour, et descend vers l'ouest. Il y a des étoiles qui restent toujours dans le ciel (on ne les voit pas quand il y a le soleil). Et d'autres qui se lèvent et se couchent. Mais toutes dans des cercles autour de l'étoile polaire.

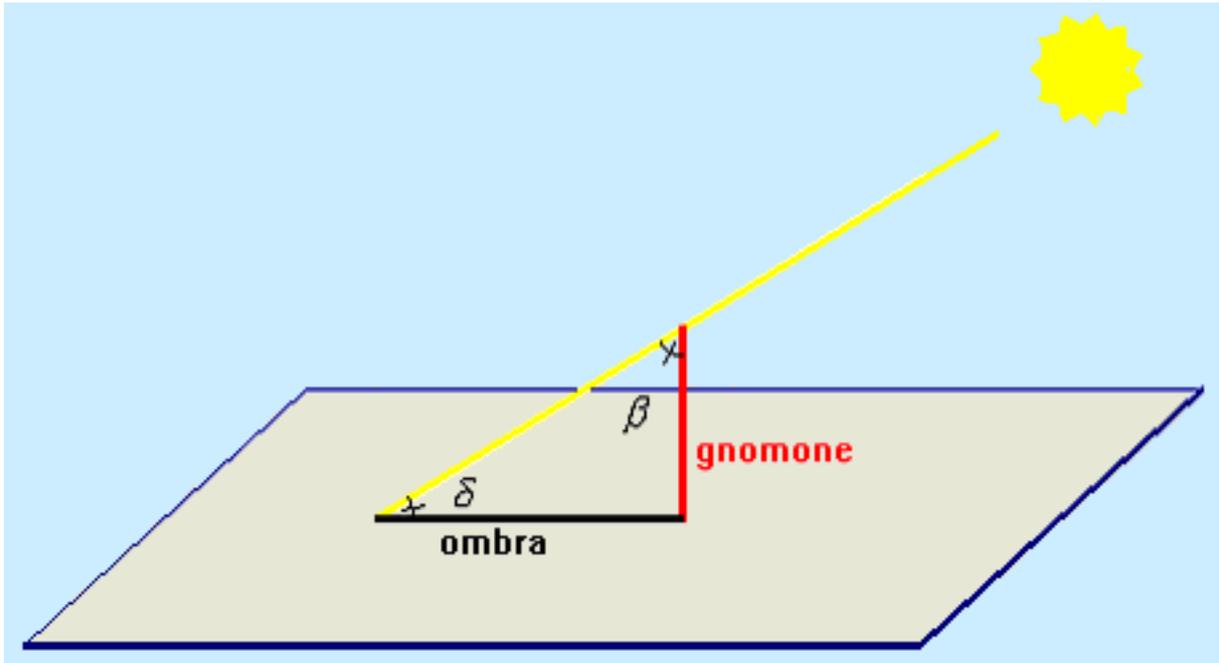


Observation cruciale: Le Soleil aussi fait des tours autour de l'étoile polaire, mais non pas exactement. A différence des étoiles, il n'est pas toujours dans la même position dans le ciel qui tourne. Les civilisations anciennes avaient remarqué ça, et fait beaucoup d'observations sur les changements de la position du soleil dans le ciel.

Ces changements sont importants parce qu'ils sont périodiques, ils se répètent dans l'année, et ils nous permettent de savoir où on en est dans l'année (important pour l'agriculture).

Anaximandre développe, l'utilisation d'un instrument simple, mais très important pour étudier le mouvement du Soleil: le gnomon. (Les Babyloniens utilisaient déjà le gnomon certainement pour repérer les solstices.) *gnomon* « qui sert à connaître »

Description du gnomon. Très simple: un bâton qui fait de l'ombre, on mesure la longueur et la position de l'ombre. Il permet de mesurer la position dans le ciel et le donc le mouvement du soleil.



Images d'un gnomon du XVII siècle, à Pékin :





Mouvement du soleil et écliptique

Observation 1 : la longueur de l'ombre donne la hauteur du soleil sur l'horizon (en degrés).

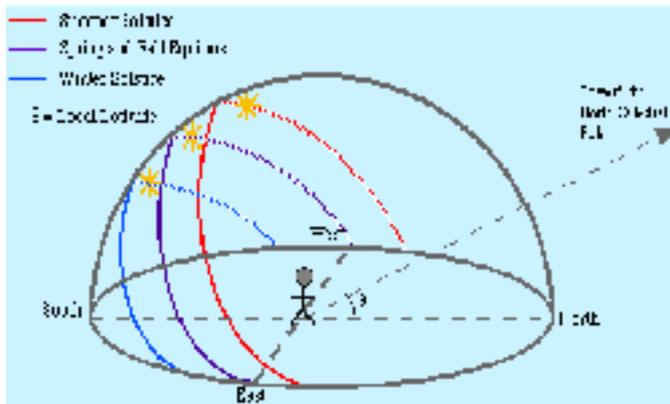
Observation 2 : (évident) la hauteur du Soleil change durant la journée.

Considérons la hauteur maximale du Soleil dans un jour donné. (Hauteur du soleil au midi vraie.)

Devoir: mesurer la hauteur maximale du soleil sur l'horizon durant cette semaine à Marseille. Exprimer le résultat en degrés.

Question: est ce que le hauteur du soleil est la même au mois d'août?

Observation 3 : (facile) la hauteur maximale du Soleil change durant l'année. Le soleil est plus haut en été et plus bas en hiver :



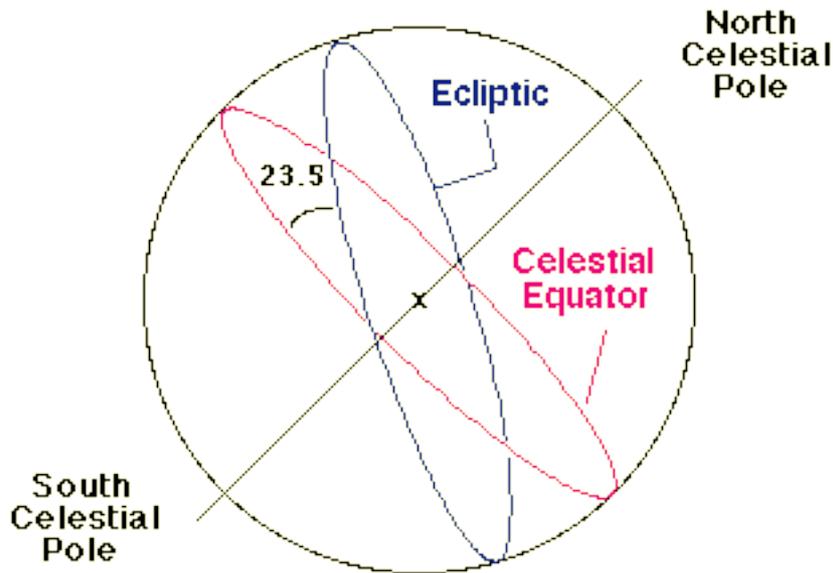
Observation 4 : il y a un jour en été où la hauteur du soleil est la plus grande (21 juin), et un jour en hiver où elle est la plus petite (21 décembre). Ces jours s'appellent les *solstices*.

Anaximandre est le premier à mesurer l'angle entre les deux hauteurs du soleil dans les deux solstices. C'est $(23,5 \times 2)$ degrés. Seriez vous capable de le faire?

Observation 5 : entre les deux solstices, il y a les équinoxes: ce sont les deux jours où le soleil est exactement à moitié chemin entre la hauteur minimale et celle maximale. Ces jours s'appellent les équinoxes (21 Mars et 21 Septembre).

Observation 6: Il y a un autre mouvement du Soleil par rapport au ciel des étoiles fixes. Chaque jour, les étoiles à minuit changent un peu: chaque jour elles sont "un peu plus avant" que la nuit précédente". Plus précisément, dans 365 jours, les étoiles font 366 tours, autour de nous. En d'autres termes, dans un tour du ciel, le Soleil, fait un peu moins qu'un tour. Cela veut dire que le Soleil bouge par rapport aux étoiles: il n'est pas dans la même position du ciel des étoiles: dans une année, il fait le tour complet, et il revient à la même position après un année. Cela était bien connu par les paysans anciens. Par exemple, il savait qu'il devait semer le blé quand une certaine constellation était présente juste après le coucher du soleil, ...

Donc, imaginez le ciel des étoiles. Il fait un tour chaque jour, mais ne pensez pas à ce tour. Demandons nous quelle est la position du soleil *par rapport* aux étoiles. Cela définit l'*écliptique*.



Equinoxes et solstices

<i>Point</i>	<i>Jour usuel</i>	<i>Ascension droite</i>	<i>Déclination</i>	<i>Constellation</i>
<i>Equinoxe de printemps</i>	<i>20 Mars</i>	<i>0 hours</i>	<i>0°</i>	<i><u>Pisces</u></i>
<i>Solstice d'été</i>	<i>21 Juin</i>	<i>6 hours</i>	<i>23.4°N</i>	<i><u>Gemini</u></i>
<i>Equinoxe d'automne</i>	<i>23 Septembre</i>	<i>12 hours</i>	<i>0°</i>	<i><u>Virgo</u></i>
<i>Solstice d'hiver</i>	<i>22 Décembre</i>	<i>18 hours</i>	<i>23.4°S</i>	<i><u>Sagittarius</u></i>

(Dans l'antiquité, l'équinoxe d'hiver était en Ariès. C'est pourquoi celle-ci est la première constellation dans la liste classique. Aussi, les solstices d'été et d'hiver étaient Cancer et Capricorne, donc les noms "Tropique du Cancer" et "Tropique du Capricorne". Les racines de l'astronomie sont bien anciennes !)

Deux nombres

- - Inclinaison de l'axe du ciel (étoile polaire sur l'horizon), ≈ 45 degrés.
- - Inclinaison de l'écliptique par rapport à l'équateur céleste : 23, 5 degrés.

Question : - pourquoi ces deux nombres ? Que veulent-t-ils dire ?

Résumé 1

- éléments caractéristiques de la "méthode scientifique"

- 1 – mise en doute critique des idées reçus
- 2 – observation de la nature et expériences
- 3 – recherche de régularités de la nature
- 4 – hypothèses simples pour expliquer
- 5 – modèles mathématiques (lois et théories)
- 6 – prédictions (tests de la théorie)
- 7 – discussion comme méthode pour arriver à la vérité
- 8 – évolution des modèles
- 9 – nouveau regard et interprétation du monde
- 10 – scepticisme par rapport aux vérités absolues
- 11 – pas de certitudes : on peut toujours se tromper.

- Les *anciennes civilisation* avaient cumulé un large quantité d'observations utiles sur la nature, mais pas d'organisation rationnelle scientifique. Le premier développement de la pensée scientifique commence dans la civilisation grecque, six siècles av-JC, en Turquie.

- *Thalès* propose la première explication naturelle de tous les phénomènes naturels: le monde est fait d'eau. Il trouve des théorèmes de géométrie et des applications de ces théorèmes.

- *Anaximandre* est un des plus grands scientifiques de tous les temps. Il comprend le premier dans toutes les civilisations que la Terre est un grand corps qui vole dans l'espace sans tomber. Premier grand changement scientifique de l'image du monde. Il améliore la théorie de Thalès et propose que tout soit fait d'une substance élémentaire, qu'il appelle le *apeiron*, qui est un modèle de tous les termes scientifiques suivants. Il construit le premier modèle du ciel: écliptique, solstices, équinoxes. Il mesure l'arc entre les solstices. Il invente l'horloge solaire et dessine la première carte géographique du monde. Il comprend que le vent, la pluie et autres phénomènes similaires ont des causes naturelles : l'eau de la pluie vient de la mer. On peut le considérer comme le premier scientifique.

- *Astronomie*: Notion de Solstice, équinoxe, écliptique, inclinaison de l'écliptique. Utilisation du *gnomon*.

Devoir:

Mesurez la hauteur maximale du soleil sur l'horizon un jour de cette semaine. Exprimer le résultat en degrés. ("Maximal": la plus haute dans la journée!).

Décrivez en détail comment vous avez fait, les difficultés que vous avez rencontrées, comment vous avez évalué le moment de hauteur maximale. Donnez une évaluation de la précision (l'erreur) de votre résultat.

Au mois de juin auriez vous obtenu le même résultat? Donnez une estimation intuitive de ce que vous auriez mesuré en juin.

Questions:

1) Quelle est la différence entre "observation de la nature" et "expérience" ?

- a) L'observateur observe passivement, l'expérimentateur construit une situation spéciale pour interroger la nature
- b) Une expérience est une observation avec des instruments
- c) Une expérience se passe dans un laboratoire, une observation à l'extérieur.

2) Déterminer des règles générales à partir des observations et des expériences est typique de :

- a) l'approche « inductive »
- b) l'approche « déductive »
- c) l'approche inductive seulement si les observations ont été faites par des scientifiques.
- d) d'une nouvelle méthode de recherche scientifique, totalement différente de la méthode inductive ou déductive.

3) Quelle est la différence entre une hypothèse et une théorie ?

- a) Une hypothèse est normalement fausse
- b) Une théorie est, par définition, absolument vraie, mais pas une hypothèse
- c) Une théorie est une hypothèse qui a été vérifiée par des expériences et par des observations
- d) Une hypothèse est, par définition, absolument vraie, mais pas une théorie.

4) Est-ce que le savoir scientifique est toujours le même, ou bien il change dans le temps?

- a) toujours le même
- b) change

c) nouvelles connaissances sont ajoutées, mais ce qui a été établi est vrai pour toujours.

5) Les prédictions d'une théorie scientifique peuvent être très utiles dans nos vies. Mais les prédictions d'une théorie scientifique ont un autre rôle très fondamental en science, même avant leur utilité pratique. Le quel ?

- a) Rendre célèbre celui qui a fait la prédiction
- b) Tester la théorie
- c) Appliquer la théorie dehors de son domaine de validité.

6) Une théorie scientifique est valable si :

- a) ses prédictions sont en accord avec les expériences
- b) si la plupart des scientifiques y croient
- c) c'est très simple expliquer la théorie
- d) elle est raisonnable.

7) Les théories scientifiques sont remplacées car :

- a) les scientifiques qui les suivent meurent
- b) elles deviennent démodées
- c) elles demandent des maths très compliquées
- d) elles ne sont pas capables d'expliquer des nouvelles observations ou expériences.

8) Il est très difficile d'appliquer la méthode scientifique aux êtres humains car :

- a) la science ne peut pas prévoir les actions des hommes
- b) les actions des astres sur les hommes sont difficiles à déterminer de façon précise
- c) quand on fait des expériences, il est très difficile d'isoler tous les facteurs qui influencent les résultats.

9) Thalès et son disciple Anaximandre croyaient que :

- a) le soleil était le centre de l'Univers
- b) la terre était plate
- c) le soleil était carré
- d) il y avait un nombre infini de galaxies.

10) Un habitant de la planète XYZ découvre que l'ombre projetée par un gnomon est toujours égale, n'importe quelle soit la position où le gnomon est planté sur sa planète. Il conclue donc que :

- a) sa planète a la forme d'un cube

- b) sa planète a une forme torique
- c) sa planète est plate comme une tortilla
- d) sa planète a une forme sphérique.

11) Le quel est un bon critère pour voir si une théorie est scientifique?

- a) En principe, on peut faire une expérience qui prouve que la théorie est fausse
- b) Par définition, une théorie est toujours vraie, pas besoin de la tester
- c) Des scientifiques y croient.

12) Pourquoi l'histoire des "petits hommes verts sur la lune" n'est pas scientifique?

- a) Car les astronautes de l'Apollo n'ont pas vu aucun petit homme vert quand ils ont atterri sur la lune
- b) Parce qu'elle n'est pas falsifiable
- c) Car elle viole l'évidence expérimentale que tous les êtres vivants ont besoin d'air pour vivre.

13) Thalès est le premier à avoir cherché une explication naturelle générale des phénomènes naturels. Il a vécu :

- a) 500 ans avant Jésus
- b) 500 ans après Jésus
- c) au temps de Copernic.

14) Thalès a suggéré que tout est fait d'eau. Cela est :

- a) Vrai
- b) Autant farfelu que de penser que la Terre est posée sur une grande tortue
- c) Faux, mais un premier pas vers la recherche scientifique.

15) Anaximandre a introduit l'idée que :

- a) la terre est ronde
- b) la terre est un corps qui flotte dans l'espace sans tomber
- c) la terre tourne.

16) Thalès et Anaximandre ont vécu :

- a) Il y a 2600 ans
- b) Au temps de Jésus Christ
- c) Au temps de Galilée.

17) Les idées de Thalès que tout est fait d'eau et de Anaximandre que tout est fait de *apèiron* sont intéressantes parce que :

- a) Ce sont les premières théories scientifiques correctes
- b) Ce sont les premiers modèles mathématiques du monde
- c) Ce sont de réponses de type presque scientifique à des questions scientifiques.

18) Les civilisations anciennes, comme les Egyptiens, les Babyloniens, avez des énormes connaissances scientifiques et technologiques, beaucoup plus avancées des nôtres, qui se sont perdues :

- a) Vrai
- b) Faux
- c) Il n'y a pas aucune façon de savoir.

19) L'influence des savoirs Egyptiens et Babyloniens sur la culture Grecque a été :

- a) Nulle
- b) Considérable
- c) Essentielle: les grecs y ont ajouté très peu.

20) Quelle est l'intuition fondamentale des Grecs anciens en ce qui concerne la Nature ?

- a) Il y a des explications rationnelles pour les phénomènes de nature
- b) Les dieux sont imprévisibles
- c) Il n'y a pas de dieux
- d) On doit réconcilier la religion avec la pensée scientifique.